

PCT

世界知的所有権機関  
国際事務局

## 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(51) 国際特許分類 5 G06F 15/16	A1	(11) 国際公開番号 WO 94/28492
		(43) 国際公開日 1994年12月8日 (08.12.94)
<p>(21) 国際出願番号 POT/JP93/00689 (22) 国際出願日 1993年5月25日 (25. 05. 93)</p> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 株式会社 日立製作所 (HITACHI, LTD.) (JP/JP) 〒101 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地 Tokyo, (JP)</p> <p>(72) 発明者; および (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ) 鹿山昌宏 (KAYAMA, Masahiro) (JP/JP) 〒316 茨城県日立市森山町三丁目17番2-505号 Ibaraki, (JP) 緒岡泰男 (MOROOKA, Yasuo) (JP/JP) 〒316 茨城県日立市堀山町二丁目2番9号 Ibaraki, (JP) 松田敏彦 (MATSUDA, Toshihiko) (JP/JP) 〒319-14 茨城県日立市小木津町一丁目21番5号 Ibaraki, (JP) 上金良博 (KAMIGANE, Yoshihiro) (JP/JP) 〒316 茨城県日立市会瀬町三丁目15番17号 Ibaraki, (JP)</p> <p>(74) 代理人 弁理士 高田幸彦 (TAKADA, Yukihiro) 〒317 茨城県日立市助川町一丁目13番22号 Ibaraki, (JP)</p> <p>(81) 指定国 BR, OA, OH (欧州特許), DE (欧州特許), FR (欧州特許), GB (欧州特許), JP, KR, SE (欧州特許), US.</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>		

(54) Title : DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM AND METHOD OF CONFIGURATING THE SYSTEM

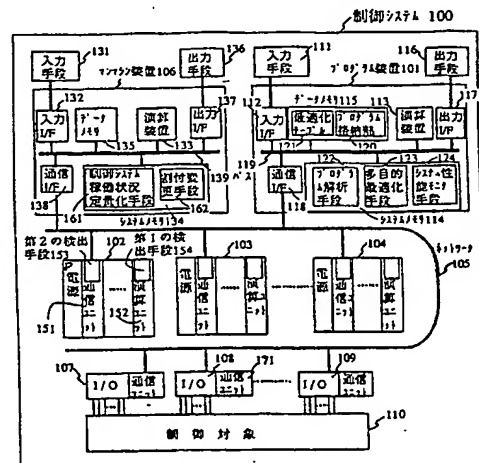
(54) 発明の名称 分散制御システム及びその構築方法

## (57) Abstract

A distributed control system comprises a plurality of controllers, program apparatus, and man-machine systems, which are all interconnected by LAN. The program apparatus is provided with functions corresponding to approval and rejection of the operating conditions of the controllers, and a program is allotted to each controller by minimizing the values of the functions. Each controller is provided with means for detecting a load ratio and means for detecting a traffic quantity of the LAN, and the change of allotment of the program allotted to each controller is made.

100 ... control system  
131 ... input means  
132 ... output means  
133 ... input means  
134 ... output means  
135 ... input means  
136 ... output means  
137 ... input means  
138 ... output means  
139 ... input means  
140 ... output means  
141 ... input means  
142 ... output means  
143 ... input means  
144 ... output means  
145 ... input means  
146 ... output means  
147 ... input means  
148 ... output means  
149 ... input means  
150 ... output means  
151 ... input means  
152 ... output means  
153 ... input means  
154 ... output means  
155 ... input means  
156 ... output means  
157 ... input means  
158 ... output means  
159 ... input means  
160 ... output means  
161 ... input means  
162 ... output means  
163 ... input means  
164 ... output means  
165 ... input means  
166 ... output means  
167 ... input means  
168 ... output means  
169 ... input means  
170 ... output means  
171 ... input means  
172 ... output means  
173 ... input means  
174 ... output means  
175 ... input means  
176 ... output means  
177 ... input means  
178 ... output means  
179 ... input means  
180 ... output means  
181 ... input means  
182 ... output means  
183 ... input means  
184 ... output means  
185 ... input means  
186 ... output means  
187 ... input means  
188 ... output means  
189 ... input means  
190 ... output means  
191 ... input means  
192 ... output means  
193 ... input means  
194 ... output means  
195 ... input means  
196 ... output means  
197 ... input means  
198 ... output means  
199 ... input means  
200 ... output means

130 ... completion I/F  
141 ... control system operating condition  
142 ... operation means  
143 ... system memory  
144 ... allocation change means  
145 ... communication I/F  
146 ... program analysis means  
147 ... multi-purpose optimization means  
148 ... system performance monitor means  
149 ... system memory  
150 ... system detection means  
151 ... first detection means  
152 ... network  
153 ... power source  
154 ... communication unit  
155 ... communication unit  
156 ... communication unit  
157 ... control object



## (57) 要約

複数のコントローラとプログラム装置、マンマシン装置をLANで結んで制御対象を制御する分散制御システムのプログラム装置に、コントローラの稼働状態の良否に対応する関数を備え、この関数の値を最小にすることで、各コントローラにプログラムを割り付けている。また、各コントローラに負荷率を検出する手段とLANのトラフィック量を検出する手段を備え、コントローラに割り当てたプログラムの割り付け変更を行なう。

## 情報としての用途のみ

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第1頁にPCT加盟国を同定するために使用されるコード

AM	アルメニア	CZ	チェッコ共和国	KP	朝鮮民主主義人民共和国	NZ	ニュージーランド
AT	オーストリア	DE	ドイツ	KR	大韓民国	PL	ポーランド
AU	オーストラリア	DK	デンマーク	KZ	カザフスタン	PT	ポルトガル
BB	バルバドス	EE	エストニア	LI	リヒテンシュタイン	RO	ルーマニア
BE	ベルギー	ES	スペイン	LK	スリランカ	RU	ロシア連邦
BF	ブルキナファソ	FI	フィンランド	LT	リトアニア	SD	スーダン
BG	ブルガリア	FR	フランス	LU	ルクセンブルグ	SE	スウェーデン
BJ	ベナン	GA	ガボン	LV	ラトヴィア	SI	スロベニア
BR	ブラジル	GB	イギリス	MC	モナコ	SK	スロヴァキア共和国
BY	ベラルーシ	GE	グルジア	MD	モルドバ	SN	セネガル
CA	カナダ	GN	ギニア	MG	マダガスカル	TD	チャド
CF	中央アフリカ共和国	GR	ギリシャ	ML	マリ	TG	トーゴ
CG	コンゴ	HU	ハンガリー	MN	モンゴル	TJ	タジキスタン
CH	スイス	IE	アイルランド	MR	モーリタニア	TT	トリニダードトバゴ
CI	コートジボワール	IT	イタリア	MW	マラウイ	UA	ウクライナ
CM	カメルーン	JP	日本	NE	ニジェール	US	米国
CN	中国	KE	ケニア	NL	オランダ	UZ	ウズベキスタン共和国
CS	チェコスロヴァキア	KG	キルギスタン	NO	ノルウェー	VN	ヴェトナム

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 1 )

## 明 細 書

## 分散制御システム 及びその構築方法

## 技術分野

本発明は複数のコントローラ、プログラム装置、マシン装置等がネットワークで接続された分散制御システムに係り、とりわけ大規模な制御システムの最適構築を可能にする構築方法に関する。

## 背景技術

複数のコントローラに対してプログラミングを行う従来の手法としては、予想されるコントローラの負荷率やネットワークのトラフィック等から、各コントローラで実行させるマクロプログラムをシステム設計者があらかじめ決定し、この決定に従ってコントローラ毎にマクロプログラムを記述していた。

またシステム稼働中の制御状態を把握するためネットワークモニタやCPUモニタ等を外部接続し、負荷率やネットワークトラフィックを個別に検出していた。

上記従来技術は、コントローラの数が少ない小規模分散システムときには大きな問題はないが、コントローラが多数になると、各コントローラで実行させるマクロプログラムを最適決定するための労力が多大となる問題があった。

また各コントローラの負荷の均一化、ネットワークト

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

## (2)

ラフィックへのアクセス頻度の最小化等のシステム性能の観点から、人の手で決定されたマクロプログラムの割付が最適である保証がなかった。

また制御対象が決定されても、これを制御するために必要なコントローラの台数を速やかに決定できないため、分散システムの仕様決定に多大な時間を要していた。

さらに実際に分散制御システムを稼働した後、演算ユニットの負荷率や、ネットワークのトラフィックを検出するには、上述した外付け機器が必要となるため、コスト高となる問題があった。

またシステム性能上、稼働中の全体状況を俯瞰的に評価し、これを最適化しようコントローラのプログラムの割付を変更することはできなかった。

上記問題点は、以下の技術手段により解決される。

まず各コントローラで実行させるマクロプログラムを最適決定するためプログラム装置に、各コントローラの負荷容量と、各マクロプログラムの演算容量と、各マクロプログラム間で共有している情報量とを記憶する最適化テーブルと、さらにシステム性能の観点から分散制御システムの稼働状況を多目的に最適化する、多目的最適化手段とを備えることで実現される。

また制御システムの最適性を保証するためには、プログラム装置に、最適化された結果をエネルギー関数で定量

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

## ( 3 )

化して使用者に提示するシステム性能モニタ手段を備えることで実現される。

さらに制御に必要なコントローラの台数を決定するためには、コントローラ数を変化させてエネルギー関数の計算を行い、適切なコントローラ数を提示する機能を出力手段に備えることにより解決される。

また実時間で制御システムの稼働状況を最適化するためには、コントローラの演算ユニットに負荷率を検出する第1の検出手段、通信ユニットにネットワークのトラフィックを検出する第2の検出手段を設け、マンマシン装置にこの結果を基に制御システムの稼働状況を定量化する制御システム稼働状況定量化手段と、稼働状況が不適と判断した場合には、これを適正化するためにコントローラが実行している仕事が最小になるよう割付変更を提示する割付変更手段を備えることにより実現される。

多目的最適化手段は、コントローラに割付られたマクロプログラムの演算容量とコントローラの負荷容量とから各コントローラの負荷率を算定する。さらに異なるコントローラに割付けられたマクロプログラム間で共有されている情報量から、ネットワークのトラフィックを計算する。これらを適当な重み付けと制約条件（たとえば各コントローラに割付けられたマクロプログラム容量の総和はコントローラの演算容量を上回らない等）の基で

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

## ( 4 )

評価し、最適なプログラムの割付けを行い、制御システムのシステム性能を最適化する。またコントローラの不足から、最適なマクロプログラム割付けが物理的に実現できない場合には、コントローラを何台増加させれば良いかを、コントローラの台数を変化させた最適化処理の結果を用いて算定する。また制御対象が与えられ、使用者から指示された場合には、この制御対象を適正に制御するために必要なコントローラの台数を、同様に变化させて上記最適化処理を行い、この結果に従って提示する。

システム性能モニタ手段は、マクロプログラムの割付けがどの程度最適化されたかに対応する評価指標（たとえばエネルギー関数）を有し、この指標の値を計算し、計算結果を表示する。

第1の検出手段はコントローラの演算ユニットのOSの機能等で実現され、コントローラの負荷率、あるいは演算の余裕分を検出する。第2の検出手段は同様に通信ユニットのOSに組み入れられる形で実現され、ネットワークのトラフィックや各コントローラがネットワークにアクセスする頻度を検出する。制御システム稼働状況定量化手段は、第1および第2の検出手段から得られた諸量を総合的に評価し、コントローラ間の負荷やネットワークに対するアクセス頻度のバラツキを定量化する。割付手段はこの結果に基づいて、最小の割付変更でこれらの

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

## ( 5 )

バラツキを減少させる方向を算出し、コントローラが実行しているマクロプログラムの割付の変更を指示する。また割付変更で制御システムの性能を十分に改善させられない場合には、マンマシン装置の出力手段を介して使用者にその旨を報知する。

## 図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の 1 実施例を示す分散制御システムの構成図である。

図 2 は、本発明の最適化テーブル構成図である。

図 3 は、プログラム解析手段が実行するフローである。

図 4 は、マクロプログラムがラダーダイアグラムの場合の例である。

図 5 は、多目的最適化手段が実行するフローの 1 実施例である。

図 6 は、各コントローラに対応するマクロプログラムと推定負荷率の関係式である。

図 7 は、マクロプログラムと推定負荷率をニューラルネットワークで結び付けるシナプスの対応関係図である。

図 8 は、割付け良否を示すディスプレイ画面である。

図 9 は、追加すべきコントローラ数を表示したディスプレイ画面である。

図 10 は、多目的最適化手段が実行するフローの他の 1 実施例である。

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

## ( 6 )

図 1 1 は、多目的最適化手段が実行するフローの他の 1 実施例である。

図 1 2 は、本発明の他の実施例のマクロプログラムを割付けるためのフローである。

図 1 3 は、本発明の他の実施例を示す分散制御システムの構成図である。

図 1 4 は、他の実施例の演算装置が実行するフローである。

図 1 5 は、データ格納部の構成図である。

図 1 6 は、第 1 の検出手段の検出方法を示すタイムチャートである。

図 1 7 は、第 2 の検出手段の検出方法を示すタイムチャートである。

図 1 8 は、制御システム稼働状況定量化手段が実行するフローである。

図 1 9 は、システム稼働状況を判定するためのフローである。

図 2 0 は、割付変更手段が実行するフローである。  
発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施例を図に従って詳細に説明する。  
図 1 に本発明により実現された制御システムの構成を示す。プログラム装置 101 に対して使用者は、制御対象 110 を動作させるためのマクロプログラムをキーボード等の



WO 94/28492

PCT/JP93/00689

## ( 7 )

入力手段111から入力する。入力されたマクロプログラムは入力インタフェース112、バス119を通してデータメモリ115のプログラム格納部120に転送され、格納される。格納されたマクロプログラムは、入力手段111から入力された使用者の指令にしたがって、通信インタフェース118、ネットワーク105を介して、コントローラ102～104にダウンロードされる。ダウンロードされたマクロプログラムは通信ユニット151を介して授受され、コントローラ102～104の演算ユニット152は、このマクロプログラムに従って制御対象110を動作させる制御信号のための演算を行う。ここでマクロプログラムとは同一のコントローラで処理するプログラムの単位を意味する。

コントローラ102～104は制御対象110の状態信号を、I/O107～109から通信ユニット171を通し、ネットワーク105を介して取り込む。また制御対象110を動作させる制御信号も同様に、ネットワーク105、通信ユニット171を介し、I/O107～109を通して制御対象110に出力する。制御対象110の状態信号やコントローラ102～104の状態は、必要に応じて、通信ユニット151、ネットワーク105を介して、マンマシン装置106に転送される。

マンマシン装置106に備えられた制御システム稼働状況定量化手段161は、各コントローラ102～104の負荷率または演算の余裕分を検出する第1の検出手段154と、

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 8 )

ネットワーク105のトラフィックや各コントローラ102～104のアクセス頻度を検出する第2の検出手段153で求めた情報をデータメモリ135に取り込み、制御システム全体の稼働状況の良否を判定する。そしてこの判定結果は、マンマシン装置106に備えられた出力手段136を通して使用者に表示される。また制御システム全体の稼働状況が不適のときは割付け変更手段162で変更しなおす。

次に各部の動作を説明する。プログラム装置101の演算装置113は、システムメモリ114に格納されたアルゴリズムに従って各種演算を実行する。演算に必要なデータはデータメモリ115に蓄えられる。演算の結果や途中経過は、必要に応じて、出力インタフェース117を介してディスプレイ、プリンタ等の出力手段116に表示され、使用者に伝えられる。

本発明で実現された最適化テーブル121はデータメモリ115に含まれ、プログラム解析手段122、多目的最適化手段123、システム性能モニタ手段124はシステムメモリ114に含まれる。プログラム解析手段122は、プログラム格納部120に格納されているプログラムの内容を解析し、使用者が入力した情報と合わせて最適化テーブル121を生成する。多目的最適化手段123は最適化テーブル121を参照しながら、マクロプログラムとコントローラの最適な割付けを決定する。

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

## ( 9 )

システム性能モニタ手段124は、最適化された割付結果、最適性の定量的な度合い、最適性が不十分な場合には新たに必要とされるコントローラの個数等の情報を明らかにし、バス119、出力インタフェース117を通して、出力手段116に出力する。

本発明で新たに実現された部分について詳細に説明する。図2に最適化テーブル121の構成を示す。最適化テーブル121は、3つのテーブルにより構成される。第1のテーブル125には、各コントローラの負荷容量がコントローラ毎に蓄えられ、これらの各値は使用者により入力手段111から入力される。図2で表した負荷容量は、コントローラを構成する複数のモジュールのうち、基本モジュールを1としたときの相対値であるが、演算能力に対応したベンチマークの値、単位時間で実行可能なマクロプログラムのステップ数等で表してもよい。

第2のテーブル126は、独立して記述されたマクロプログラムの各々の演算容量を記憶している。また第2のテーブル126中では基本モジュールが単位時間に実行可能なステップ数を1.0として演算容量を相対値で表示したが、マクロプログラムのステップ数そのもので表してもよいし、各マクロプログラムのメモリの占有量等を使用してもよい。また使用者が正確な値を直接入力してもよい。

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 1 0 )

演算容量を求める処理は、プログラム解析手段122で行い、図3を用いて後述する。第3のテーブル127には、異なるマクロプログラム間で共有されている情報量が格納される。情報量を計数する処理も演算容量を求める処理と同様、プログラム解析手段122で行われる。

図3にプログラム解析手段122が実行するアルゴリズムを示す。まずステップS3-1でプログラム格納部120に蓄えられている各マクロプログラムのステップ数を検出する。コントローラ102~104としてはプログラマブルコントローラ、計装用ループコントローラ、EICコントローラ（電気・計装・計算機の機能を含んだコントローラの総称）が通常用いられ、マクロプログラム中に分岐や繰り返し命令はほとんど記述されないため、ステップ数を評価することで、マクロプログラムの実行時間を高精度に算出できる。

ステップS3-2でステップ数の検出が総てのマクロプログラムに関して終了したかどうかを確認し、終了していない場合には未終了のマクロプログラムに関してステップS3-1の処理を繰り返す。終了している場合にはステップS3-3で、各マクロプログラムのステップ数に対応した値を演算容量として、第2のテーブル126に格納する。

ステップS3-4ではマクロプログラムのペア間で共有

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 1 1 )

されている情報量の大きさを検出する。マクロプログラムは各コントローラに対し独立性の高いプログラムであるが、システム全体の制御の都合上、各マクロプログラム間に共有する情報を持たざるを得ない場合がある。この共有情報量は共通して用いられているI/Oデータ数を指標として決定すればよく、これらはマクロプログラムを解析すれば得られる。

図4にマクロプログラムがラダーダイアグラムの場合を例に、マクロプログラム解析の方法を示す。図には2つのマクロプログラム(a)、(b)が記述されていて、X110、Y390等は信号の存在しているアドレスを示している。例えばマクロプログラム(a)の最初の行の意味は、次式が真の時、アドレスY220に1を出力することを示している。

$$(X110=1) \cap \{(Y390=1) \cup (X122=1)\} \cap (X121=0)$$

ここでマクロプログラム(a)で用いられているY390、Y310は、マクロプログラム(b)の演算により生成される情報である。またマクロプログラム(b)で用いられているY220、Y267は、マクロプログラム(a)の演算により生成される情報である。2つのマクロプログラムが別のコントローラで実行された場合、これらの情報はネットワーク105を介して授受されなければならない。図4の場合、図3のステップS3-4の処理から、共有情報量が4つあることが検出される。

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 1 2 )

ステップ S 3-5で共有情報量の検出が総てのマクロプログラムペアに関して終了したかどうかを確認し、終了していない場合には未終了のペアに対してステップ S 3-4の処理を繰り返す。終了している場合にはステップ S 3-6で、マクロプログラム間の共有I/O数に対応した値（図 4 の例では 4 になる）を、共有情報量として第 3 のテーブル127に格納する。

図 5 に多目的最適化手段123が実行するアルゴリズムを示す。図 5 では組み合わせ最適化問題を多項式時間で解くホップフィールドタイプのニューラルネットワークを用いた例を示す。ホップフィールドタイプのニューラルネットワークの詳細に関しては、「ニューラルネットワーク情報処理」産業図書、麻生英樹著（以下、文献 1）に詳しい。

まずステップ S 5-1でシステムメモリ114から、あらかじめ定義されているエネルギー関数を読み込む。エネルギー関数を定義するためには、マクロプログラムとコントローラの割付状態を定式化する必要があるが、これは図 6 の形で記述される。割付が完了した状態において、状態変数  $X_{ij}$  は 1 か 0 の値を取り、1 の場合マクロプログラム  $j$  がコントローラ  $i$  で実行されることを意味し、0 はマクロプログラム  $j$  がコントローラ  $i$  で実行されないことを示している。また状態変数  $Y_i$  はコントローラ  $i$  の推

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 1 3 )

定負荷率に対応しており、0から1までの値をとる。推定負荷率はコントローラ101～104のうちの1つのコントローラに割付けられているマクロプログラムの演算容量の総和を、そのコントローラの負荷容量で除した値となる。エネルギー関数はこれらの状態変数を用いて、以下の形で定義する。

$$E = \omega_1 E_1 + \omega_2 E_2 + \omega_3 E_3 + \omega_4 E_4 \quad \dots (\text{数式 1})$$

ただし

$$E_1 = \sum_j^n \left( \sum_i^m X_{ij} - 1 \right)^2$$

$$E_2 = \sum_i^m \left\{ \left( \sum_j^n L_j \cdot X_{ij} - Z_i \right)^2 / F_i^2 \right\}$$

$$E_3 = \sum_i^m \left\{ \sum_j^n \sum_{k(j \neq k)}^n N_{jk} \cdot X_{ij} \cdot (1 - X_{ik}) \right\}$$

$$E_4 = \sum_i^m \left\{ \left( F_i \cdot Y_i - \sum_j^n L_j \cdot X_{ij} \right)^2 \right\} / F_i^2$$

$$Z_i = \left( \sum_j^n L_j \right) \cdot F_i / \sum_i^m F_i$$

 $F_i$  : コントローラ  $i$  の負荷容量 $L_j$  : マクロプログラム  $j$  の演算容量 $N_{jk}$  : マクロプログラム  $j$  とマクロプログラム  $k$  共有情報量 $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$  : 定数

エネルギー関数  $E$  はマクロプログラムとコントローラの割付状態の良否と対応しており、ここでは  $E$  の値が小さいほど割付状態が良好なことを示している。数式 1 では  $E$  はサブエネルギー関数  $E_1 \sim E_4$  の和で表されている。

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 1 4 )

ここで  $E_1$  は同一のマクロプログラムが複数のコントローラで処理されないようにするための制約条件で、 $E_1 = 0$  のとき制約条件が満足された状態である。 $E_2$  はマクロプログラムが各コントローラに均一に割り当てられているかどうかの目安を示すもので、各コントローラの推定負荷率が均一な程  $E_2$  の値が小さくなる目的関数である。また  $E_3$  はネットワークのトラフィックと対応しており、コントローラ間の共有情報量が少ない程小さな値となるので、ネットワーク負荷を小さくする目安に使用する目的関数である。 $E_4$  はマクロプログラムの割付が過剰となり、いずれかのコントローラのマクロプログラムの演算容量の総和が、そのコントローラの負荷容量をオーバすると正の値となり、オーバしないときは常に  $E_4 = 0$  となる、 $E_1$  と同じ制約条件である。

それぞれのサブエネルギー関数  $E_1 \sim E_4$  の形は数式 1 に示した以外に、目的や制約が最も良好に満足されたときに最小になる関数であれば良い。また各定数  $\omega_1 \sim \omega_4$  は、使用者が入力手段 111 から入力する。通常、 $\omega_1$  と  $\omega_4$  は  $\omega_2$  と  $\omega_3$  よりも大きい。いま各コントローラの推定負荷率が均一になることを重視するならば、 $E_2$  の係数  $\omega_2$  を  $E_3$  の係数  $\omega_3$  よりも大きくする。またネットワーク負荷を小さくすることを重視するならば、逆に  $E_3$  の係数  $\omega_3$  を  $E_2$  の係数  $\omega_2$  よりも大きい値にする。



WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 1 5 )

次にステップ S5-2でシナプスの重みを計算する。図 6 の各状態変数はそれぞれ 1 つのニューロンと対応付けられ、図 7 の形でネットワーク上にインプリメントされる。このときネットワークのエネルギー関数  $E'$  が定義でき、

$$E' = -(1/2) \sum_i^m \sum_{i'}^m \sum_j^n \sum_{j'}^n W_{ij i' j'} \cdot X_{ij} \cdot X_{i' j'} - \sum_i^m \sum_j^n \theta_{ij} \cdot X_{ij} \quad \dots (\text{数式 2})$$

となる。数式 1 の  $E$  と数式 2 の  $E'$  との比較から、数式 2 の各  $W_{ij i' j'}$  および  $\theta_{ij}$  が決定され、これらが図 7 のシナプスの重みとなる。

ステップ S5-3では、図 7 のネットワークの初期値として状態変数  $Y_i$ 、 $X_{ij}$  に、適当な値を与えるが、通常は乱数等を用いることが多い。

ステップ S5-4では初期値から出発して、状態変数  $Y_i$ 、 $X_{ij}$  の値を  $E$  が小さくなる方向に更新していく。ホップフィールドネットワークの状態遷移アルゴリズムは、上述の文献 1 をはじめ多くの文献で詳細に述べられている。たとえば抽出したニューロン  $X_{ij}$  に関し、

$$\Delta E = \sum_{i'}^m \sum_{j'}^n W_{ij i' j'} \cdot X_{i' j'} - \theta_{ij} \quad \dots (\text{数式 3})$$

$i \neq i' \text{ かつ } j \neq j'$

を計算し、 $\Delta E$  の値が正であれば  $X_{ij}$  を 1 にし、負であれば  $X_{ij}$  を 0 にすることを繰り返す。また  $Y_i$  は数式 4 に

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 1 6 )

より、その都度計算できる。

$$Y_i = \sum_j^m X_{ij} \cdot L_j \quad \dots (\text{数式 4})$$

ステップ S5-5では、ネットワークの状態遷移が収れんしたかどうかを判定する。収れん判定はEの値が許容値以下になっているか、ステップ S5-4の処理を何度行ってもネットワークの状態が変わらないかのいずれかで確認する。後者の場合は、 $X_{11} \sim X_{mn}$ の一巡の抽出を行い、ネットワークの状態が変わらないことで収れんを判定すればよい。収れんしていない場合にはステップ S5-4に帰り、ネットワークの状態遷移アルゴリズムを繰り返す。

収れんした場合にはステップ S5-6で、得られたネットワークの状態（図6の $X_{ij}$ の1、0値）を、コントローラに対する最終的なマクロプログラムの割付とし、このときのエネルギーEの値を計算する。ステップ S5-5の収れん判定は毎回行う必要はなく、総てのニューロンについて処理が一巡したタイミングで行えば、判定回数を少なくできる。

システム性能モニタ手段124は、多目的最適化手段123で計算されたエネルギーの値を、随時もしくは使用者からの要求にしたがって出力手段116に転送する。

図8に出力手段116がディスプレイである場合を例に、エネルギー値の表示を行った実施例を示す。エネルギーの値

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 1 7 )

は割付良否指標として、0を最適値にした数値で表示される。この数値から使用者は、現在のタスクの割付がどの程度最適化されているか知ることができる。絶対値の代わりに、“良好”、“コントローラの負荷率のアンバランスやや大”のように、言語的に表示してもよい。また最適化される過程を時系列に表示することも容易である。

さらに図5のアルゴリズムが収れんしても、最適化の度合いが所望の値に至っていない場合は、コントローラの追加が必要であることを表示することもできる。またこのときコントローラの台数を1台ずつ増やしながらか、所望のエネルギーEの値が収れん値を満足するまで図5のアルゴリズムで計算し、追加すべきコントローラ数を表示してもよく、これを出力手段136に表示した例を図9に示す。またネットワーク105のトラフィックの推定値を基に、必要とされるネットワーク105のスペックを推定し、表示してもよい。

多目的最適化手段123が実行するアルゴリズムとして、図5ではホップフィールドタイプのニューラルネットワークを用いた例を示したが、ペアワイズ法やミンカット法、シミュレーテッドアニーリング法等の、広く知られた最適化技法を用いることも考えられる。

図10にペアワイズ法を用いた場合のアルゴリズムを

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 1 8 )

示す。まずステップ S 10-1 では、コントローラ 102 ~ 104 とマクロプログラムとを適当に割り付け、初期状態とする。次にステップ S 10-2 で、複数のコントローラ間でマクロプログラムの交換を行う。複数のコントローラとして、例えば 2 台のコントローラでこの処理を行う場合であれば、これらの間で割り付けられているマクロプログラムを互いに交換すれば良い。

ステップ S 10-3 で、マクロプログラムの交換の結果、マクロプログラム割付けの良否と対応したエネルギーの値を計算し、交換前の値との増減を判定する。エネルギーの値はたとえば数式 1 で計算する。エネルギー関数値が減少していない場合には、ステップ S 10-4 でマクロプログラムの交換を元に戻す処理を行い、ステップ S 10-2 に復帰する。そして別のコントローラの組み合わせで以下、ステップ S 10-2 とステップ S 10-3 の処理を繰り返す。エネルギー関数値が減少している場合には、ステップ S 10-5 でマクロプログラム割付けの良否の度合いが収れん状態になったかどうかを判定する。すなわち E の値が許容値以下になっているか、あるいはステップ S 10-2 ~ ステップ S 10-3 の処理を何度行ってもネットワークの状態が変わらないことを確認する。収れんしていない場合にはステップ S 10-2 に戻り、上述した処理を繰り返す。収れんした場合にはステップ S 10-6 で、得られた結果を、コント

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 1 9 )

ローラに対する最終的なプログラムの割付とし、このときのエネルギーの値を計算する。

3 台以上のコントローラでこの処理を行う場合でも、交換の形態を適当に決定して、同様に行うことができる。例えば 3 台のコントローラを A, B, C とし、それぞれのコントローラに当初対応していたマクロプログラムを a, b, c とする。それをコントローラ A はマクロプログラム b を、コントローラ B はマクロプログラム c をコントローラ C はマクロプログラム a という様に交換してもよい。

図 1 1 にシミュレートドアニーリング法を用いた場合のアルゴリズムを示す。ペアワイズ法を用いた場合との基本的な違いはステップ S 11-1 の確率処理が導入された点である。ステップ S 10-3 でエネルギー関数が減少しなかったと判断された場合にも、ステップ S 11-1 の確率値を満足している場合にはステップ S 10-4 の交換解消処理を行わず、ステップ S 10-2 に戻る。

確率処理は通常、モンテカルロ的に行い、処理の進行とともに確率値を上昇させて、ステップ S 11-1 で確率値を満足する頻度を減らす方法が用いられる。ステップ S 11-1 の処理を追加することにより、収れん状態を得るまでの計算時間は長くなるものの、収れん状態における解の品質を向上させる（エネルギー値を小さな値にする）ことが可能となる。

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 2 0 )

図 1 2 に本発明の他の実施例として、一定水準の解を高速に求めるアルゴリズムを示す。まずステップ S 12-1 では、コントローラとマクロプログラムとを適当に割り付け、初期状態とする。次にステップ S 12-2 でマクロプログラムの遷移モードを決定する。図 1 2 のアルゴリズムでは遷移モードとして、2 つのコントローラ間でマクロプログラムを一方のコントローラに移動させる処理と、2 つのコントローラ間で割付られているマクロプログラムを交換する処理を扱う。これらは図 6 の定式化に従うと、現在の割付状態からハミング距離 2 とハミング距離 4 に状態遷移させることに対応する。実際にはハミング距離の異なったその他の遷移モードを設けても良い。

マクロプログラムの移動が遷移モードとして選択された場合には、ステップ S 12-3 で対応した処理を行う。またマクロプログラムの交換が遷移モードとして選択された場合には、同様にステップ S 12-4 で交換処理を行う。選択は交互に行ってもよいし、移動又は交換のモードのうち、一方のモードを何回か繰り返した後、他方を選択する形態にしてもよい。

ステップ S 12-5 でこれらによりエネルギー関数値が減少しているかどうかを判定し、減少していない場合にはステップ S 12-6 で処理を解消（行わないことに）し、ステップ S 12-2 に戻る。減少している場合にはステップ S 12

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 2 1 )

-7で、エネルギー関数の値が収れんしているかどうかを判定する。収れんしている場合にはステップS12-8でコントローラとマクロプログラムの割付を確定し、最終的なエネルギーの値を計算しておく。収れんしていない場合には、ステップS12-2に戻り、アルゴリズムの処理を継続する。

次に図13を使用して他の最適化テーブル121の構築方法を説明する。例としてコントローラ102～104が外部からのイベントに対応した処理を主に実行する、プロセスコントローラに代表される装置を取り上げる。この場合、各マクロプログラム1～マクロプログラムnは、制御対象110や入力装置111から信号が入力されたことを起点にして実行される。これはコントローラ102～104が前述したプログラマブルコントローラ、計装用ループコントローラ、E I Cコントローラ（電気・計装・計算機の機能を含んだコントローラの総称）の場合で、外部イベント処理に要する演算量が無視できない場合にも適用できる。

図13は外部イベントの発生頻度を模擬する機能を備えたシミュレーション装置2001を備えた場合の実施例で、プログラム装置101は、プラントコントローラ2002～2004にマクロプログラムを割り付ける。プラントコントローラ2002～2004には、少なくとも通信ユニット2006と演

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 2 2 )

算ユニット2007が含まれる。通信ユニット2006は、ユーザが入力手段111から入力した要求信号や制御対象110で発生したイベント信号を受け付ける。制御対象110が圧延システムである場合、要求信号としては、ユーザのキー入力を起点にして制御対象110のリアルタイムデータを取り込み、プラントコントローラ2002～2004のいずれかに備えられている板の圧延精度を推定するプログラムを起動する処理があり、制御対象110で発生したイベント信号としては、制御対象110に圧延材が到着したことを起点にして、各種制御プログラムを起動し、実行する処理がある。演算ユニット2007はこれらのプログラムを実行し、その結果を通信ユニット2006を介して、出力手段116に出力してユーザに伝えたり、制御対象110に出力する。

シミュレーション装置2001にはイベント発生模擬部2008、マクロプログラム格納部2009、最適化テーブル121の中の第2のテーブル126を構築するのに用いるデータを格納するデータ格納部2010が含まれる。ユーザはシミュレーション装置2001に対して入力手段2012からシミュレーションの起動・終了やシミュレーション結果の転送等の指示を行う。これらの信号は入力I/F2013、バス2017を介して演算装置2011に伝えられる。またシミュレーション結果は、バス2017、出力I/F2014、出力手段2015



WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 2 3 )

を介してユーザに伝えられたり、通信I/F2016、ネットワーク105を介してプログラム装置101に転送されて、最適化テーブル121中の、第2のテーブル126の構築に用いられる。

図14に演算装置2011が実行する処理を示す。まずステップS20-1で、イベント発生模擬部2008が制御対象110で発生する各種イベント（異常処理や部品搬入時のみに行われる非定常処理）や、入力手段111からユーザが入力する要求の頻度に従ってイベントを発生する。次にステップS20-2でこのイベントが起動したマクロプログラムをマクロプログラム格納部2009から抽出し、模擬実行する。ステップS20-3でこのマクロプログラムの実行時間を判定し、データ格納部2010に格納する。

図15にデータ格納部2010の構成を示す。マクロプログラムごとにイベントの発生回数と、各発生したイベントの実行に必要なイベント処理時間が記録されている。例えばマクロプログラム1を実行するイベントが発生したとすると、マクロプログラム番号1のイベント発生回数に1が加算され、イベント処理時間の項にステップS20-3で検出された実行時間が新たに追加される。ステップS20-4でシミュレーションが終了したかどうかを判定し、終了していない場合はステップS20-1に戻り処理を継続する。終了した場合には、ステップS20-5で最適化

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 2 4 )

テーブル121の第2のテーブル126を生成するための演算を行う。演算としてはマクロプログラムごとに、例えばイベントの発生回数Nとイベント処理時間の平均値t、及びシミュレーション時間Tから、下式により、単位時間に該当マクロプログラムを実行するのに要する時間の期待値Vを算出することが考えられる。

$$V = N \times t \div T \quad (t \leq T)$$

各マクロプログラムに対応したVの値はネットワーク105を介してプログラム装置101の最適化テーブル121に送られ、第2のテーブル126に格納される。

本実施例ではシミュレーション装置2001をプログラム装置101から分離した構成としたが、一体化してもよい。またプラントコントローラ2002～2004とプログラム装置101を一体化し、プラントコントローラ2002～2004の一つをシミュレーション装置2001とした構成にしても良い。さらにシミュレーション装置2001では、複数のイベントが同時に発生した場合を考慮したシミュレーションを行い、シミュレーション結果を高精度化しても良い。

次にコントローラ102～104の演算ユニット152に備えられる第1の検出手段154の構成を示す。図16に各コントローラの負荷率あるいは演算の余裕分を検出する第1の検出手段154で計測される演算ユニット152のランタイム計数方法を示す。

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 2 5 )

アイドル状態の演算ユニット152は通常、イベントの発行を受けて種々の処理へ状態を遷移する。例えばタイマ割込を起点に、定周期で行う処理の実行を開始する。また外部割込等を起点に、割込処理の実行を開始する。これらが重複して発行された場合には、所定の優先度に従って、プライオリティの高い処理が実行される。ここで第1の検出手段154は、演算ユニット152がアイドル状態にある時間間隔 $t_i$ と、何らかの処理に供されている時間間隔 $t_b$ とを、一定時間積算する。そして数式5から $i$ 番目のコントローラの演算ユニット152の負荷率が容易に算定できる。

$$(\text{load})_i = \frac{\sum t_b}{\sum (t_b + t_i)} \quad \dots (\text{数式 5})$$

$i$  : コントローラ番号

$\Sigma$  : 一定時間内での積算を表す

このような演算は、演算ユニット152のOSに計数機能を組み込むことによりソフトウェア的に処理することが容易であるが、専用のハードウェアを付加すれば高速な検出も可能である。

図17にコントローラ102~104の通信ユニット151に備えられる第2の検出手段153の処理を示す。ネットワーク105のトラフィックや各コントローラ102~104のアクセス頻度を検出する第2の検出手段153は、通信ユニ

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 2 6 )

ット151がネットワークにデータを書込んでいる時間間隔 $t_w$ と、ネットワークからデータを読出している時間間隔 $t_r$ を一定時間 $T_c$ の間積算する。数式6により、 $i$ 番目のコントローラの通信ユニット151がネットワーク負荷に及ぼす影響を定量化できる。

$$(\text{traf})_i = \frac{\sum t_w}{T_c} \quad \dots (\text{数式 6})$$

 $i$  : コントローラ番号 $\sum$  : 一定時間内での積算を表す

また数式7により通信ユニット151の通信負荷を計算できる。

$$(\text{com})_i = \frac{\sum t_r}{T_c} \quad \dots (\text{数式 7})$$

 $i$  : コントローラ番号 $\sum$  : 一定時間内での積算を表す

このような演算は、通信ユニット151のOSに計数機能を組み込むことによりソフトウェア的に処理することが容易であるが、専用のハードウェアを付加すれば高速な検出も可能である。また一つのコントローラに複数の演算ユニットや通信ユニットが組み込まれている場合への拡張も、サフィックスの扱いを変えることで容易に実現できる。

図18に制御システム稼働状況定量化手段161が第1の検出手段154と第2の検出手段153とから求めた情報を用いてシステム全体の稼働状況の良否を判定するアルゴ

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 2 7 )

リズムを示す。

まずステップ S 15-1 でコントローラ 102 ~ 104 の各演算ユニット 152 と通信ユニット 151 から負荷率 (load)  $i$ 、ネットワーク負荷に及ぼす影響係数 (traf)  $i$  を取り込む。

次にステップ S 15-2 で各 (load)  $i$  が許容される最大値である (load)  $th$  を越えていないかどうか判定する。越えていた場合にはステップ S 15-3 で最大負荷率許容値のオーバと判定する。越えていない場合にはステップ S 15-4 で各通信ユニットがネットワークに及ぼす影響の総和が、ネットワークの許容トラフィック (load)  $th$  を逸脱していないかどうかを判定する。

逸脱している場合にはステップ S 15-5 で、ネットワークトラフィックオーバと判定し、詳細は後述する割付変更手段 162 で変更する。逸脱していないと判定された場合は、システムの稼働状況を良好であると判定する。以上の判定結果は前述したように、マンマシン装置 106 に備えられた出力手段 136 を通して使用者に表示される。

図 19 に制御システム全体の稼働状況を定量化する他の実施例のアルゴリズムを示す。図 18 のアルゴリズムでは各演算ユニットや通信ユニットの状態を個別に判断したが、図 19 では割付の不均一の度合いを俯瞰的に判断する処理の一例を示す。まずステップ S 16-1 で (load)  $i$ 、(traf)  $i$ 、数式 7 から求めた (com)  $i$  を取り込む。

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 2 8 )

取り込む検出値としては、このほかの諸量に加わっていてもよい。

次にステップ S 16-2 で、これらを用いて数式 8 の状態マトリクスを生成する。

$$\begin{bmatrix} (\text{load})_1 & (\text{load})_2 & \cdots \cdots (\text{load})_i & \cdots \cdots (\text{load})_m \\ (\text{traf})_1 & (\text{traf})_2 & \cdots \cdots (\text{traf})_i & \cdots \cdots (\text{traf})_m \\ (\text{com})_1 & (\text{com})_2 & \cdots \cdots (\text{com})_i & \cdots \cdots (\text{com})_m \end{bmatrix}$$

i : コントローラ番号

m : コントローラ数

… (数式 8)

ステップ S 16-3 ではこの状態マトリクスを主成分解析し、対応する固有値スペクトル  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$  (ただし  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3$ ) を求める。主成分解析の詳細については、「回帰分析と主成分分析」芳賀・橋本 (日科技連) に詳細に記述されている。本実施例では固有値の数は 3 であるが、検出量の数が多い場合には対応した大きな値となる。ここで  $\lambda_1$  を第 1 固有値、 $\lambda_2$  を第 2 固有値とすると、第 1 固有値  $\lambda_1$  はコントローラ 102 ~ 104 が受け持っている仕事量 (負荷、ネットワークへの書込み処理、ネットワークからの読出し処理の総計) の不均一の度合いと対応する。また第 2 固有値  $\lambda_2$  はコントローラの仕事内容の不均一と対応する。すなわち、負荷率が高くネットワークの使用頻度が低いコントローラがある一方、負荷率が低いにも拘わらずネットワークへのアクセス頻

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 2 9 )

度が高いコントローラがある等の、割付仕事の不均一と対応する。

ステップ S 16-4では第 1 固有値  $\lambda_1$  がその大きさの許容値である  $\lambda_{1th}$  より大きいかどうかを判定する。大きい場合にはステップ S 12-5でコントローラの仕事量の不均一と判定する。大きくない場合にはステップ S 16-6で、第 2 固有値  $\lambda_2$  がその大きさの許容値である  $\lambda_{2th}$  より大きいかどうかを判定する。大きい場合にはステップ S 12-7でコントローラの仕事内容の不均一と判定する。大きくない場合には、ステップ S 16-8でシステムの稼働状況を良好であると判定する。以上の判定結果は、マンマシン装置 106 に備えられた出力手段 136 を通して使用者に表示される。

俯瞰的判断の方法としては種々考えられ、たとえば数式 1 の E に対応したエネルギー値を用いて行ってもよい。また図 19 の処理で実現される制御システムの状態監視は、タイマを起点に一定周期で繰り返し行ってもよいし、使用者が入力手段 131 から実行タイミングを指示する方式としてもよい。

図 20 に割付変更手段 162 が実行するアルゴリズムを示す。このアルゴリズムは制御システム稼働状況定量化手段 161 で、システムの稼働状態が良好ではないと判断されたことにより起動される。まずステップ S 17-1で、

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 3 0 )

システム稼働状態の不良がコントローラの仕事量不均一かどうかを判定する(S.12-5)。仕事量不均一の場合、ステップS.17-2で負荷率の高いコントローラの処理の一部を負荷率の低いコントローラへ移動させる割付変更の処理を行う。さらにステップS.17-3で、システム稼働状態の不良がコントローラの仕事内容の不均一かどうかを判定する(S.12-7)。仕事内容の不均一の場合、ステップS.17-4でネットワークへのアクセス頻度の高い処理と低い処理の交換による割付変更をコントローラ間で行う。また割付変更で制御システム100の性能を十分に改善させられない場合には、その旨をバス139、出力インタフェース137、出力手段136を介して、使用者に提示する。

本実施例ではマンマシン装置106とプログラム装置101を、分離された別個のハードウェアで構成した例を示したが、一体化してもよい。またマンマシン装置106とプログラム装置101が制御システムに複数備えられ、それらが区分された制御システムのそれぞれを最適化させる構成としてもよい。

本発明によれば、従来多大な時間と労力、さらにノウハウを必要としていた大規模制御システムの立ち上げに関し、コントローラと制御用マクロプログラムの割付を、エネルギー関数を用いた最適化アルゴリズムにより自動化できる。また確定した制御対象に対して、与えられた最



WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 3 1 )

適性の下で制御するのに必要なコントローラの台数やネットワークの性能を明らかにできる。さらにエネルギー関数の評価値を出力することにより、割付結果の良否を定量的に把握したり、複数の割付方法の優劣を判定できる。

またコントローラに負荷率やネットワークのトラフィックの検出手段を設け、マンマシン装置に制御システムの稼働状況を俯瞰的に判断する手段を設けたことで、制御システム稼働中においても、制御システムの稼働状況の良否を判定し、各コントローラの処理を最適化できる。

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 3 2 )

## 請求の範囲

1. 制御対象の動作仕様に関する情報と前記制御対象の状態に関する情報を入力する複数のコントローラを有する分散制御システムにおいて、

各前記コントローラの負荷率を検出する第1の検出手段と、各前記コントローラを結ぶネットワークのトラフィックを検出する第2の検出手段と、

前記第1の検出手段及び第2の検出手段の出力に基づき制御システム稼働状況を定量化し、稼働状態を評価する演算手段と、

前記結果に基づき各前記コントローラへのマクロプログラムの割付けを変更する手段と

を有することを特徴とする分散制御システム。

2. 制御対象の動作仕様に関する情報と前記制御対象の状態に関する情報を入力する複数のコントローラを有する分散制御システムにおいて、

各前記コントローラに割付けられたマクロプログラムの演算容量と各前記コントローラの負荷容量から求まる推定負荷率と前記マクロプログラム間の共有情報量とから定義されるエネルギー関数を演算し、前記マクロプログラムの割付け状態を評価する手段を有し、

前記評価結果に基づいて前記コントローラへのマクロプログラムの割付けを決定する手段とを有することを特

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 3 3 )

徴とする分散制御システム。

3. データメモリと演算装置とを有するマンマシン装置と、データメモリと演算装置とを有するプログラム装置と、これらとネットワークで結ばれた複数個のコントローラと、からなる分散制御システムにおいて

前記マンマシン装置は、制御システム稼動状況定量化手段とプログラム割付け手段とを有し、前記プログラム装置は、最適化テーブルと、プログラム解析手段及び多目的最適化手段とを有することを特徴とする分散制御システム。

4. 演算装置とデータメモリとシステムメモリと入力手段と出力手段とを有するプログラム装置と、演算装置とデータメモリとシステムメモリと入力手段と出力手段とを有するマンマシン装置と、これら及び制御対象とネットワークで結ばれた複数個のコントローラと、からなる分散制御システムにおいて、

前記プログラム装置は、前記データメモリに最適化テーブルとプログラム格納部を有し、前記システムメモリにプログラム解析手段と多目的最適化手段及びシステム性能モニタ手段とを有し、

前記マンマシン装置は、前記システムメモリに制御システム稼動状況定量化手段と割付け変更手段とを有し、

各前記コントローラは第1の検出手段を有する演算ユ

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 3 4 )

ニットと、第 2 の検出手段を有する通信ユニットとを有することを特徴とする分散制御システム。

5. 請求の範囲第 3 項または第 4 項の分散制御システムにおいて、前記最適化テーブルは前記コントローラの負荷容量と各前記コントローラに割付けられたマクロプログラムの演算容量と前記マクロプログラム間の共有情報量からなることを特徴とする分散制御システム。

6. 請求の範囲第 1 項または第 5 項の分散制御システムのいずれか 1 つにおいて、コントローラの台数を変化させて前記関数の極値を求める演算を行い、それぞれの極値の値と使用者が入力した適正なコントローラの負荷率やネットワークのトラフィックから、前記分散制御システムを構築するのに十分なコントローラ数を算定して前記出力手段に出力することを特徴とする分散制御システム。

7. 請求の範囲第 1 項または第 4 項の分散制御システムにおいて、前記第 1 の検出手段と第 2 の検出手段より得られた情報から前記コントローラの稼働状態の良否の判定結果が否の場合、コントローラ演算の割付変更を表示する表示手段を備えたことを特徴とする分散制御システム。

8. 制御対象の動作仕様に関する情報と前記制御対象の状態に関する情報を入力する複数のコントローラを制御

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 3 5 )

する分散制御システムの構築方法において、

各前記コントローラに割付けられたマクロプログラムの演算容量と各前記コントローラの負荷容量と前記マクロプログラム間の共有情報量とから、前記マクロプログラムを演算するコントローラを選定することを特徴とする分散制御システムの構築方法。

9. 制御対象の動作仕様に関する情報と前記制御対象の状態に関する情報を入力する複数のコントローラを制御する分散制御システムの構築方法において、

各前記コントローラに割付けられたマクロプログラムの演算容量と各前記コントローラの負荷容量と前記マクロプログラム間の共有情報量とから、コントローラの必要台数を決定することを特徴とする分散制御システムの構築方法。

10. 制御対象の動作仕様に関する情報と前記制御対象の状態に関する情報を入力する複数のコントローラを制御する分散制御システムの構築方法において、

各前記コントローラに割付けられたマクロプログラムの演算容量と各前記コントローラの負荷容量から求まる推定負荷率と前記マクロプログラム間の共有情報量とから定義されるエネルギー関数を演算し、前記マクロプログラムの割付け状態を評価する手段と、

前記評価結果に基づいて前記コントローラへのマクロ

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 3 6 )

プログラムの割付けを決定する手段と、

各前記コントローラの負荷率を検出する第 1 の検出手段と、

各前記コントローラを結ぶネットワークのトラフィックを検出する第 2 の検出手段と、

前記第 1 の検出手段及び第 2 の検出手段の出力に基づき制御システム稼働状況を定量化して稼働状態を評価する演算手段と、

前記稼働状態の評価結果に基づき各前記コントローラへのマクロプログラムの割付けを変更する手段と

を有することを特徴とする分散制御システムの構築方法。

1 1 . 請求の範囲第 1 0 項の分散制御システムの構築方法において、前記第 1 の検出手段と前記第 2 の検出手段からの情報を状態マトリクスに蓄え、前記状態マトリクスを主成分解析したときの第 1 固有値と第 2 固有値に従って、前記コントローラの稼働状態の良否を判定することを特徴とする分散制御システムの構築方法。

1 2 . 制御対象を制御するためのマクロプログラムを有し、かつ前記制御対象の状態信号を入力する前記複数のコントローラを制御する分散制御システムの構築方法において、

次式から表現されるエネルギー関数  $E$ 、

すなわち

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 3 7 )

$$E = \omega_1 E_1 + \omega_4 E_4$$

ただし  $E_1$  は同一の前記マクロプログラムが前記複数のコントローラで処理されないようにするための制約条件、 $E_4$  は割当てられた前記マクロプログラムの演算容量が前記コントローラの負荷容量を超えないようにするための制約条件、 $\omega_1$  及び  $\omega_4$  は定数

から制御システムの稼働状況を演算評価し、前記エネルギー関数  $E$  が小さくなるように各前記コントローラに前記マクロプログラムを割付けることを特徴とする分散制御システムの構築方法。

13. 請求の範囲第12項において、次式から表現されるエネルギー関数  $E$ 、

すなわち

$$E = \omega_1 E_1 + \omega_2 E_2 + \omega_3 E_3 + \omega_4 E_4$$

ここで  $E_2$  は前記マクロプログラムが各前記コントローラの推定負荷率均一度を示す目的関数、 $E_3$  は前記コントローラ間の共有情報量を示す目的関数、 $\omega_2$  及び  $\omega_3$  は定数

から制御システムの稼働状況を演算評価し、前記エネルギー関数  $E$  が小さくなるように各前記コントローラに前記マクロプログラムを割付けることを特徴とする分散制御システムの構築方法。

14. 請求の範囲第12項または第13項のいずれかの

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 3 8 )

分散制御システムの構築方法において、前記コントローラの稼働状態を現在の状態から次の状態へ遷移させたと想定し、前記エネルギー関数が小さくなるよう、各前記コントローラに前記マクロプログラムを割付けることを特徴とする分散制御システムの構築方法。

15. 請求の範囲第12項または第14項の少なくとも1つの分散制御システムの構築方法において、

組合わせ最適化手法を用いて前記エネルギー関数を小さくする手法を使用することを特徴とする分散制御システムの構築方法。

16. 請求の範囲第15項の分散制御システムの構築方法において、前記組合わせ最適化手法は、ホップフィールド型ニューラルネットワーク、ペアワイズ法、ミンカット法、シミュレーティドアニーリング法のうち、少なくともいずれか1つを用いたことを特徴とする分散制御システムの構築方法。

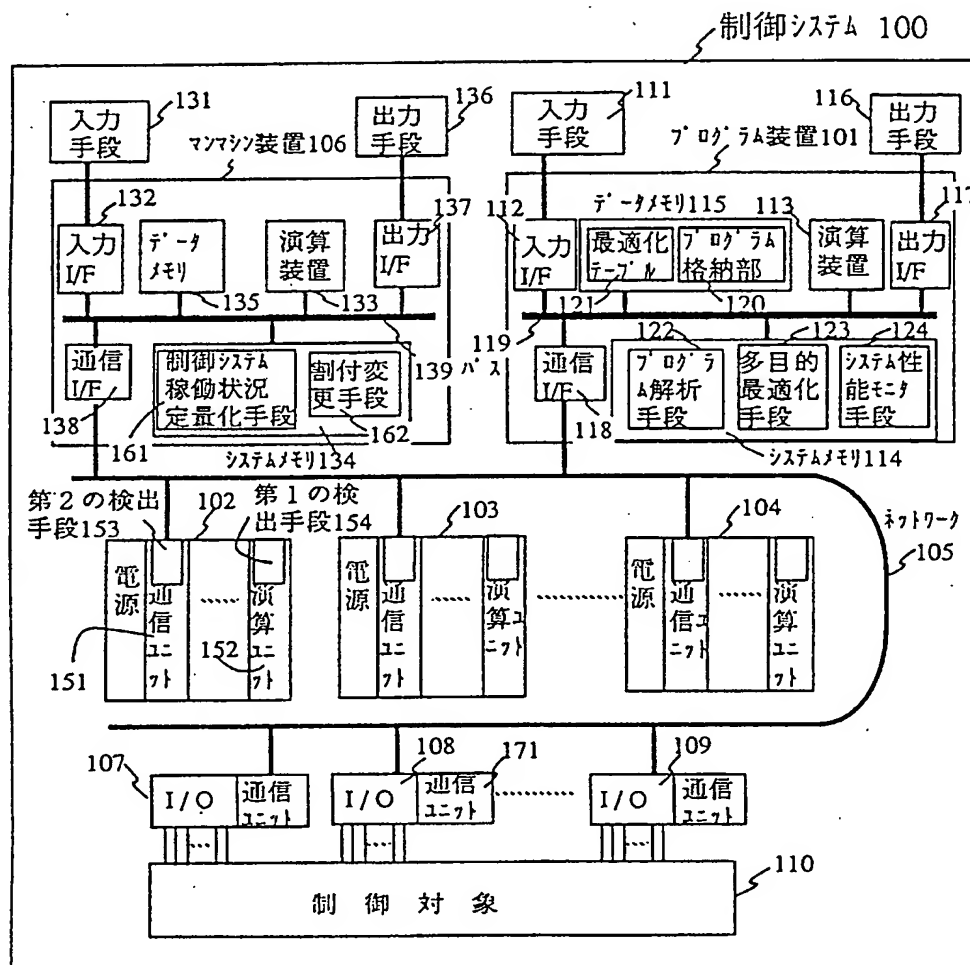


WO 94/28492

PCT/JP93/00689

(1 / 13)

図 1



WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 2 / 1 3 )

図 2

最適化テーブル 121

第 1 のテーブル 125		第 2 のテーブル 126	
コントローラ番号	負荷容量	マクロブロック番号	演算容量
1	1.0	1	0.15
2	2.0	2	0.22
⋮	⋮	⋮	⋮
m	1.5	n	0.51

マクロブロック番号	マクロブロック番号			
	1	2	3	⋮
1	0	6	⋮	n
2	0	13	⋮	32
3	6	13	⋮	5
⋮	⋮	⋮	⋮	17
n	32	5	17	⋮

第 3 テーブル 127

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

(3 / 13)

図 3

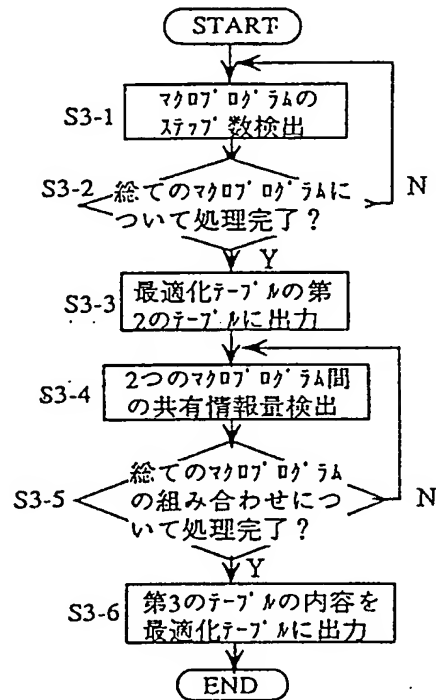
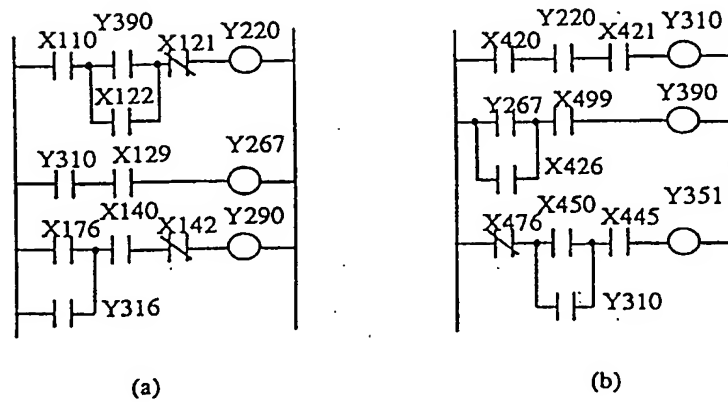


図 4



WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 4 / 1 3 )

図 5

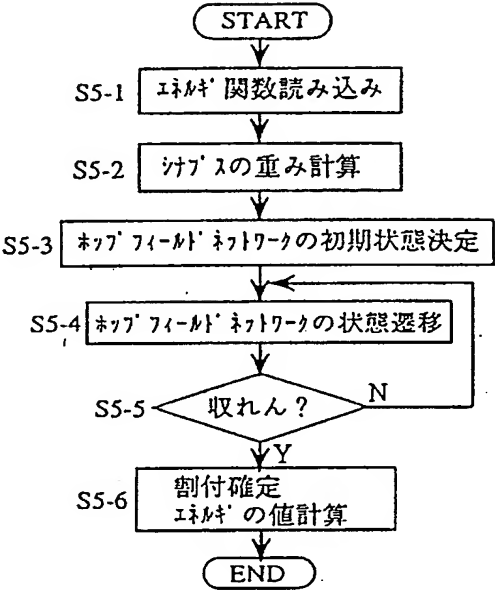


図 6

	推定負荷率	マクロブロック			
		マクロブロック1	マクロブロック2	マクロブロックj	マクロブロックn
コントローラ	Y <sub>1</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	.....	X <sub>1n</sub>
	Y <sub>2</sub>	X <sub>21</sub>	X <sub>22</sub>	.....	X <sub>2n</sub>
	Y <sub>3</sub>	X <sub>31</sub>	X <sub>32</sub>	.....	X <sub>3n</sub>
	Y <sub>i</sub>	X <sub>i1</sub>	X <sub>i2</sub> ..... X <sub>ij</sub> ...		X <sub>in</sub>
	Y <sub>m</sub>	X <sub>m1</sub>	X <sub>m2</sub> ..... X <sub>mn</sub>		

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

(5 / 13)

図 7

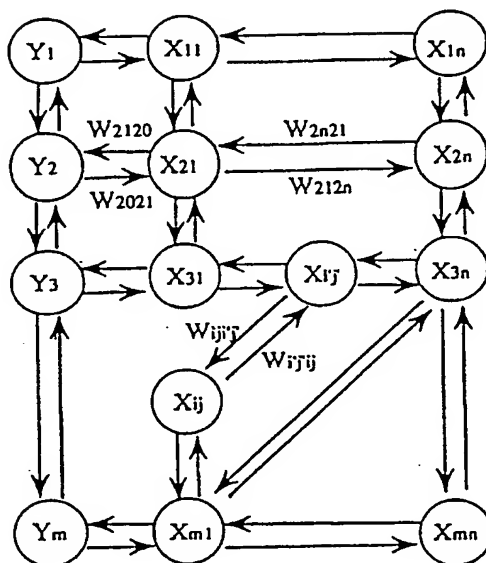
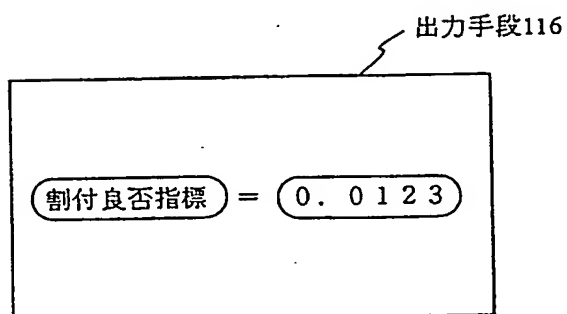


図 8



WO 94/28492

PCT/JP93/00689

(6 / 13)

図 9

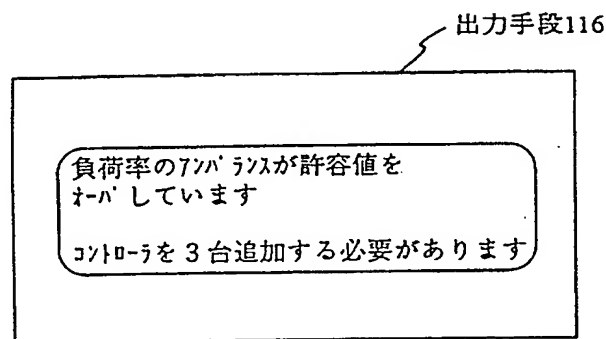
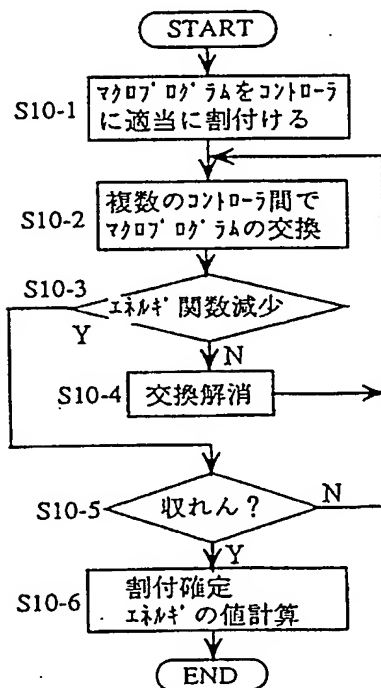


図 10



WO 94/28492

PCT/JP93/00689

(7 / 13)

図 14

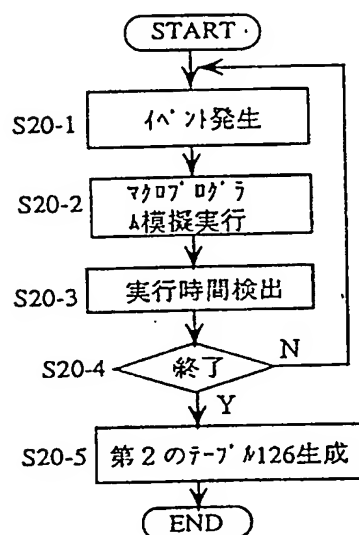


図 15

データ格納部2010

マクロのロケールA番号	1	2	.....	n
イベント発生回数	2	4	.....	0
イベント処理時間	1	200	62	.....
	2	182	54	.....
	3	.	48	.....
	4	.	61	.....
	.	.	.	.....
	N	.	.	.....

WO 94/28492

PCT/JP93/00689

(8 / 13)

図 16

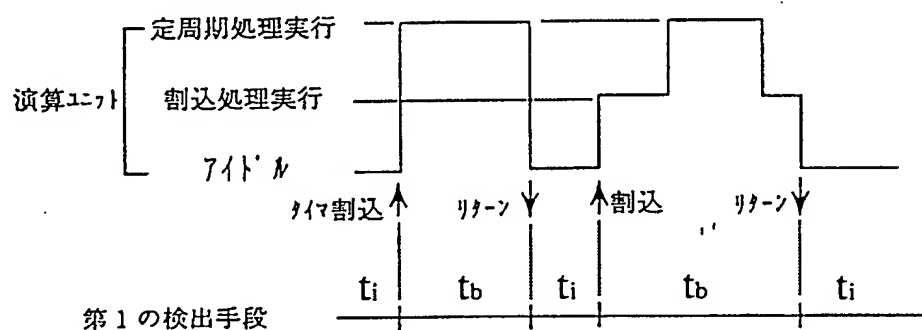
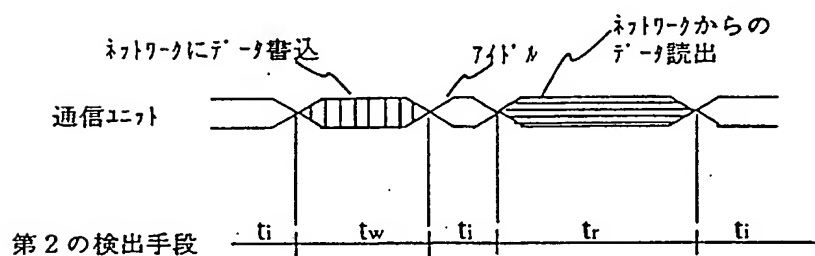


図 17





WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 9 / 1 3 )

図 18

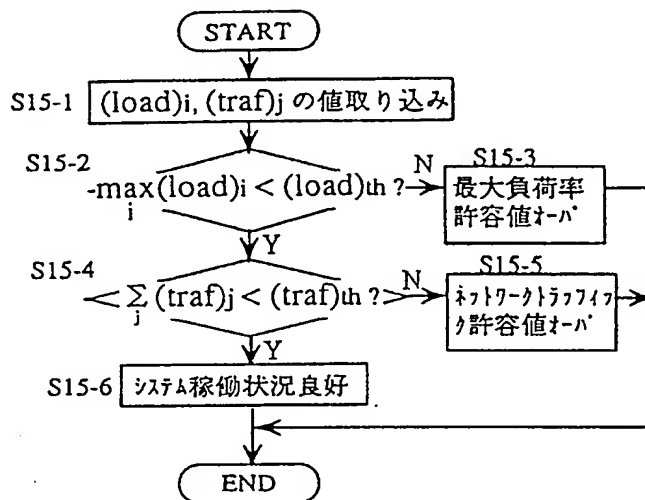
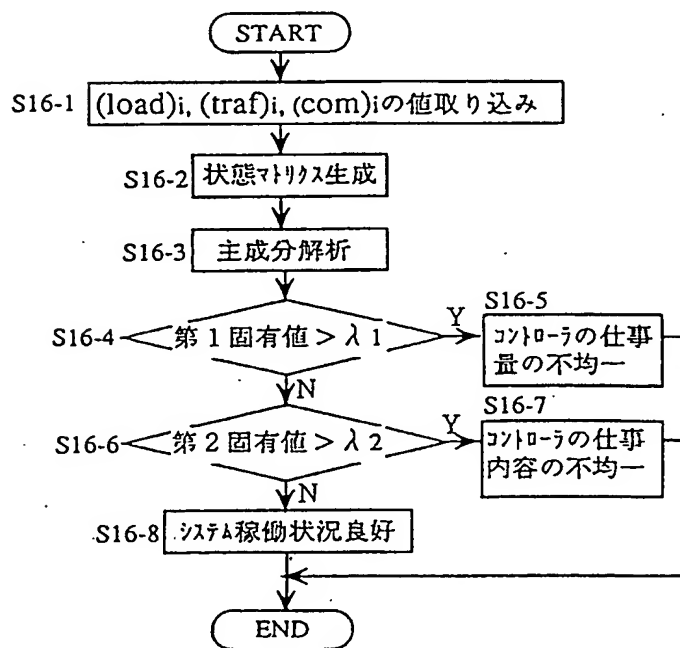


図 19

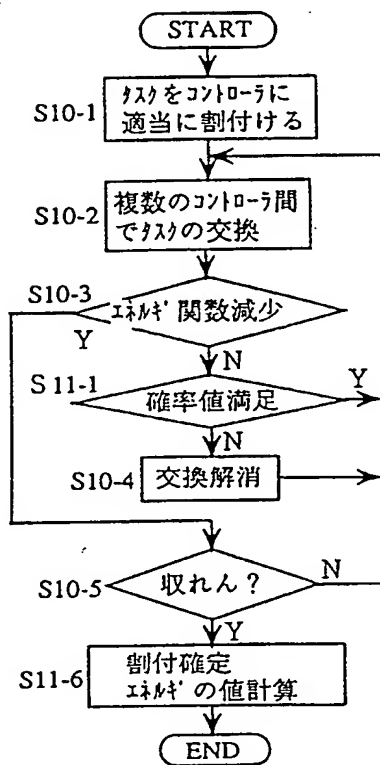


WO 94/28492

PCT/JP93/00689

(10 / 13)

図 11

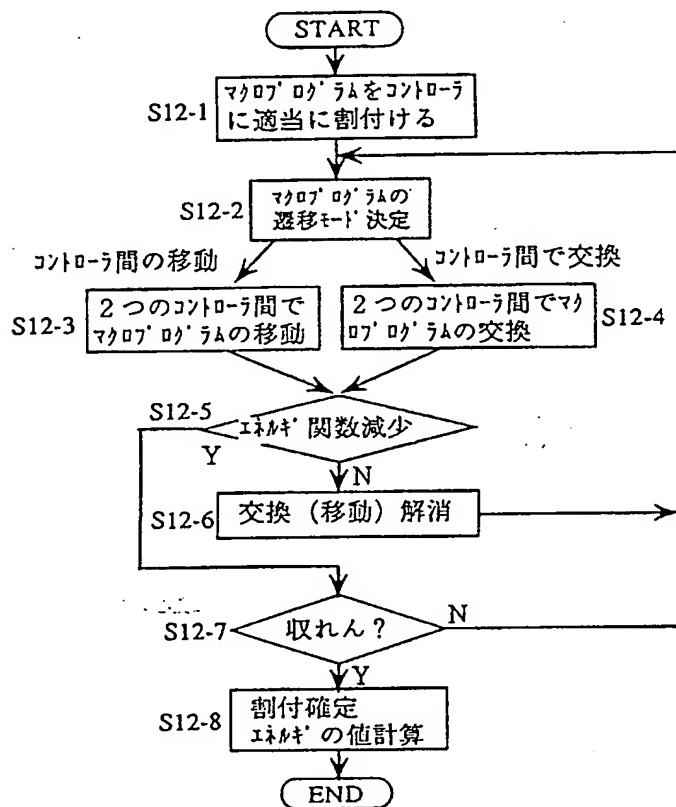


WO 94/28492

PCT/JP93/00689

(11 / 13)

図 1-2

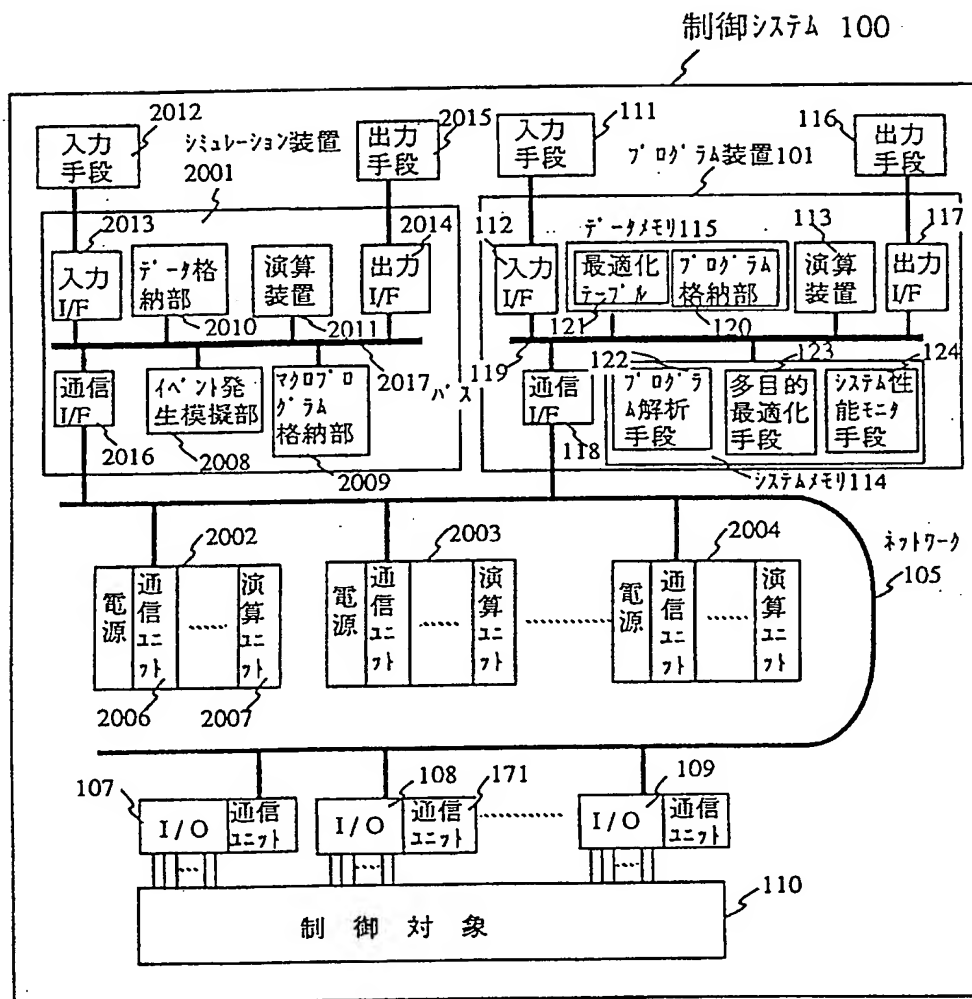


WO 94/28492

PCT/JP93/00689

(12 / 13)

図 13

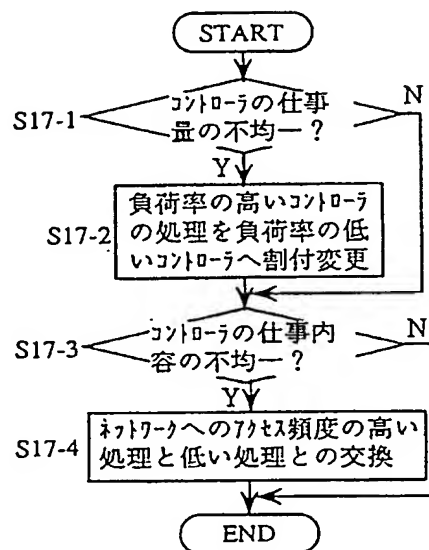


WO 94/28492

PCT/JP93/00689

( 1 3 / 1 3 )

図 20



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP93/00689

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
Int. Cl <sup>5</sup> G06F15/16		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
Int. Cl <sup>5</sup> G06F15/16		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Jitsuyo Shinan Koho 1925 - 1993		
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971 - 1993		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP, A, 61-97753 (Toshiba Corp.), May 16, 1986 (16. 05. 86), (Family: none)	1 7, 10 3, 4, 11
A	JP, A, 2-81257 (Toshiba Corp.), March 22, 1990 (22. 03. 90), (Family: none)	2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12-16
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
August 11, 1993 (11. 08. 93)		August 31, 1993
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JP 93 / 00689
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl. G 0 6 F 1 5 / 1 6		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl. G 0 6 F 1 5 / 1 6		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1925-1993年 日本国公開実用新案公報 1971-1993年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y A	JP, A, 61-97753 (株式会社 東芝), 16. 5月. 1986 (16. 05. 86) (ファミリーなし)	1 7, 10 3, 4, 11
A	JP, A, 2-81257 (株式会社 東芝), 22. 3月. 1990 (22. 03. 90) (ファミリーなし)	2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12-16
<input type="checkbox"/> C 種の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 先行文献ではあるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 11. 08. 93	国際調査報告の発送日 31.08.93	
名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号 100 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 徳 永 民 雄 電話番号 03-3581-1101 内線 3561	5 L 9 1 9 1